

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-052096

(43)Date of publication of application : 19.02.2002

(51)Int.Cl.

A63B 45/00

A63B 37/00

G06F 17/50

(21)Application number : 2000-242338

(71)Applicant : SUMITOMO RUBBER IND LTD

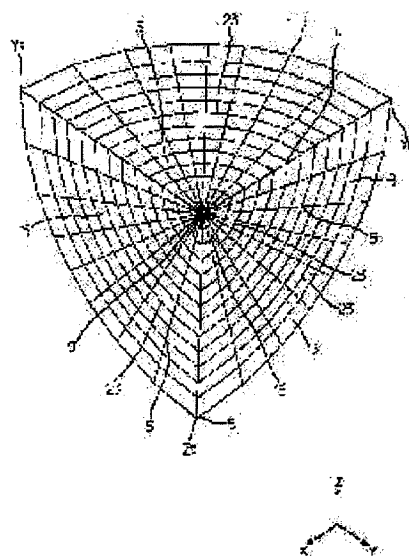
(22)Date of filing : 10.08.2000

(72)Inventor : MIYAMOTO KAZUYOSHI

(54) METHOD OF ANALYZING PHYSICAL PROPERTY OF GOLF BALL AND METHOD OF MAKING FOR GOLF BALL**(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method of analyzing the physical properties of a golf ball using finite element method based on useful mesh division.

SOLUTION: An eighth model is obtained through the step A1 of imagining a microscopic cube; the step A2 of obtaining nodal points by dividing the microscopic cube using a mesh; the step A3 of obtaining new nodal points by projecting onto the spherical surface of a microscopic eighth sphere the nodal points contained within any of six planes of the microscopic cube that do not coincide with three planes of an eighth sphere; the step A4 of dividing a space between the spherical surface of the microscopic eighth sphere and the spherical surface of the eighth sphere by use of the spherical surfaces of a plurality of intermediate eighth spheres whose centers are located at an original point; and the step A5 of repeating the operation of projecting the nodal points present on the inner spherical surface onto an outer, adjacent spherical surface, from the microscopic eighth sphere to the eighth sphere via the plurality of intermediate eighth spheres. The eighth model is expanded to obtain a finite-element golf ball model.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-52096
(P2002-52096A)

(43) 公開日 平成14年2月19日 (2002.2.19)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	チーエーコード* (参考)
A 6 3 B 45/00		A 6 3 B - 45/00	B 5 B 0 4 6
37/00		37/00	C
G 0 6 F 17/50	6 1 2	G 0 6 F 17/50	6 1 2 J

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2000-242338(P2000-242338)

(22) 出願日 平成12年8月10日 (2000.8.10)

(71) 出願人 000183233

住友ゴム工業株式会社

兵庫県神戸市中央区脇浜町3丁目6番9号

(72) 発明者 宮本 和佳

兵庫県神戸市中央区脇浜町3丁目6番9号

住友ゴム工業株式会社内

(74) 代理人 100107940

弁理士 岡 憲吾

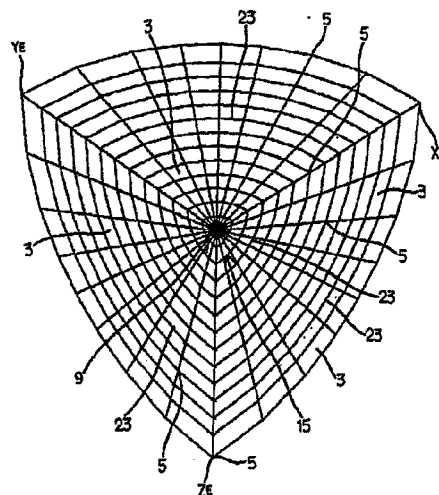
Fターム(参考) 5B046 AA00 DA02 JA07

(54) 【発明の名称】 ゴルフボール物性の解析方法及びゴルフボール製造方法

(57) 【要約】

【課題】 有用なメッシュ分割に基づく有限要素法によるゴルフボール物性解析方法の提供。

【解決手段】 微小立方体を想定するステップ (A 1) と、この微小立方体をメッシュ分割して節点を得るステップ (A 2) と、この微小立方体の6個の平面のうち1/8球体の3個の平面と一致しない平面に含まれる節点を、微小1/8球体の球面に投影して新たな節点を得るステップ (A 3) と、微小1/8球体の球面と1/8球体の球面との間の空間を、原点を球中心とする複数の中間1/8球体の球面で分割するステップ (A 4) と、微小1/8球体から複数の中間1/8球体を経て1/8球体にまで、内側の球面に存在する節点をその外側に隣接する球面に投影する操作を順次繰り返すステップ (A 5) とによって、1/8モデルを得る。この1/8モデルを展開して、有限要素ゴルフボールモデルを得る。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 原点で互いに直交する3個の平面でこの原点にその中心が位置するゴルフボールを8分割し、得られる1/8球体を多数の要素にメッシュ分割することによって1/8モデルを得るステップ(A)と、
ステップ(A)で得られた1/8モデルを組み合わせて略球状、略半球状又は略1/4球状の有限要素ゴルフボールモデルを得るステップ(B)と、
ステップ(B)で得られた有限要素ゴルフボールモデルを用いて有限要素法によってゴルフボール物性の解析を行うステップ(C)とを含み、

このステップ(A)が、

1個の頂点が原点と一致し、6個の面のうちの3個がそれぞれ1/8球体の3個の平面と一致する微小立方体を想定するステップ(A1)と、

この微小立方体をメッシュ分割して節点を得るステップ(A2)と、

この微小立方体の6個の面のうち1/8球体の3個の平面と一致しない面に含まれる節点を、内部に微小立方体を含み原点を球中心とする微小1/8球体の球面に投影して新たな節点を得るステップ(A3)と、

微小1/8球体の球面と1/8球体の球面との間の空間を、原点を球中心とする複数の中間1/8球体の球面で分割するステップ(A4)と、

微小1/8球体から複数の中間1/8球体を経て1/8球体にまで、内側の球面に存在する節点をその外側に隣接する球面に投影する操作を順次繰り返すステップ(A5)とからなるゴルフボール物性の解析方法。

【請求項2】 ゴルフボールを多数の要素にメッシュ分割して略球状の有限要素ゴルフボールモデルを得るステップ(D)と、

ステップ(D)で得られた有限要素ゴルフボールモデルを用いて有限要素法によってゴルフボール物性の解析を行うステップ(E)とを含みこのステップ(D)が、ゴルフボールの中心に位置する微小立方体を想定するステップ(D1)と、

この微小立方体をメッシュ分割して節点を得るステップ(D2)と、

この微小立方体の表面の節点を、内部に微小立方体を含みその中心がゴルフボールの中心と一致する微小球体の球面に投影して新たな節点を得るステップ(D3)と、微小球体の球面とゴルフボール球面との間の空間を、その中心がゴルフボール中心と一致する複数の中間球体の球面で分割するステップ(D4)と、

微小球体から複数の中間球体を経てゴルフボール球面にまで、内側の球面に存在する節点をその外側に隣接する球面に投影する操作を順次繰り返すステップ(D5)とからなるゴルフボール物性の解析方法。

【請求項3】 ゴルフボールを多数の要素にメッシュ分割して略球状、略半球状又は略1/4球状の有限要素ゴ

ルフボールモデルを得るステップ(F)と、

ステップ(F)で得られた有限要素ゴルフボールモデルを用いて有限要素法によってゴルフボール物性の解析を行うステップ(G)とを含みこのステップ(F)が、ゴルフボールの直径と略同一直径の半円を想定するステップ(F1)と、

この半円の中心からこの半円の弧に向かって伸びる複数の半径線と、この半円と円中心が同一でありこの半円よりも直径が小さな複数の半円弧とを想定するステップ(F2)と、

半円及び半円弧と半径線との交点から複数の節点を得るステップ(F3)と、

この半円をその直径線を回転軸として回転することによってステップ(F3)で得られた節点を展開するステップ(F4)とからなるゴルフボール物性の解析方法。

【請求項4】 全ての要素に占める六面体要素の比率が95%以上となるようなメッシュ分割によって、多数の要素を含む有限要素ゴルフボールモデルを得るステップ(H)と、

ステップ(H)で得られた有限要素ゴルフボールモデルを用いて有限要素法によってゴルフボール物性の解析を行うステップ(I)とを含むゴルフボール物性の解析方法。

【請求項5】 請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の解析方法によって得た情報に基づいて仕様を決定するステップ(J)と、この仕様に基づいてゴルフボールの製造を行うステップ(K)とを含むゴルフボール製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ゴルフボール物性の解析方法に関し、詳細には有限要素法を用いた解析方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】ゴルフボールは、ゴルフクラブで打撃されることによって飛行する。打撃時の反発特性、飛び出し方向、スピン速度、打球感等の打撃時物性は、その後の弾道(弾道高さや飛距離)に大きな影響を与える。ゴルフボールメーカーは打撃時物性の向上を目指し、常に開発努力を重ねている。

【0003】ゴルフボールの開発では、まず設計がなされ、ついで試作品が作製される。そして、この試作品が打撃試験に供され、打撃時物性ととも弾道が計測される。計測されたデータは判定され、得られた結果が不十分な場合はこのデータが次の設計にフィードバックされる。このように、ゴルフボール開発では設計、試作及び打撃試験が繰り返されるが、これには多大の労力と時間とが必要である。

【0004】打撃試験に代えて、又は打撃試験とともに

に、室内での物性測定がなされることもある。室内で測定される物性としては、例えば反発係数、圧縮変形量（いわゆるコンプレッション）、固有振動数、衝撃力等が挙げられる。室内での物性測定は、打撃試験に比べれば容易である。しかし、試作品を作製しなければならないという点において室内での物性測定も打撃試験と同様であり、やはりゴルフボール開発に多大の労力と時間とが必要である。

【0005】さらに、打撃試験であっても室内の物性測定であっても、得られるデータはゴルフボール全体としての物性にすぎない。従って、例えば衝突時や圧縮変形時にゴルフボールの各部位がどのような挙動を示しているかは、把握が困難である。このため、ゴルフボールの開発では、設計から評価までの試行錯誤が繰り返されることも多い。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】例えば有限要素法等を利用したシミュレーションを行うことにより、試作を行うことなくゴルフボールを評価する方法も考えられる。有限要素法では、解析対象物（ここではゴルフボール）が多数の要素にメッシュ分割される。

【0007】しかしながら、ゴルフボールは球体なので、メッシュ分割には複雑な操作が必要である。特に、精度の高いゴルフボール解析のためには、メッシュ分割に工夫が必要である。

【0008】本発明はこのような実状に鑑みてなされたものであり、有用なメッシュ分割に基づく有限要素法によるゴルフボール物性解析方法の提供をその目的とするものである。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するためになされた発明は、以下の（Ａ）から（Ｃ）のステップを含むゴルフボール物性の解析方法である。

（Ａ）原点で互いに直交する３個の平面でこの原点にその中心が位置するゴルフボールを８分割し、得られる１／８球体を多数の要素にメッシュ分割することによって１／８モデルを得るステップ、（Ｂ）ステップ（Ａ）で得られた１／８モデルを組み合わせて略球状、略半球状又は略１／４球状の有限要素ゴルフボールモデルを得るステップ及び（Ｃ）ステップ（Ｂ）で得られた有限要素ゴルフボールモデルを用いて有限要素法によってゴルフボール物性の解析を行うステップ。

【0010】そして、ステップ（Ａ）は、以下の（Ａ１）から（Ａ５）のステップを含む。

（Ａ１）１個の頂点が原点と一致し、６個の面のうちの３個がそれぞれ１／８球体の３個の平面と一致する微小立方体を想定するステップ、（Ａ２）この微小立方体をメッシュ分割して節点を得るステップ、（Ａ３）この微小立方体の６個の面のうち１／８球体の３個の平面と一致しない面に含まれる節点を、内部に微小立方体を含み

原点を球中心とする微小１／８球体の球面に投影して新たな節点を得るステップ、（Ａ４）微小１／８球体の球面と１／８球体の球面との間の空間を、原点を球中心とする複数の中間１／８球体の球面で分割するステップ及び（Ａ５）微小１／８球体から複数の中間１／８球体を経て１／８球体にまで、内側の球面に存在する節点をその外側に隣接する球面に投影する操作を順次繰り返すステップ。

【0011】また、上記の目的を達成するためになされた他の発明は、以下の（Ｄ）及び（Ｅ）のステップを含むゴルフボール物性の解析方法である。

（Ｄ）ゴルフボールを多数の要素にメッシュ分割して略球状の有限要素ゴルフボールモデルを得るステップ及び（Ｅ）ステップ（Ｄ）で得られた有限要素ゴルフボールモデルを用いて有限要素法によってゴルフボール物性の解析を行うステップ。

【0012】そして、ステップ（Ｄ）は、以下の（Ｄ１）から（Ｄ５）のステップを含む。

（Ｄ１）ゴルフボールの中心に位置する微小立方体を想定するステップ、（Ｄ２）この微小立方体をメッシュ分割して節点を得るステップ、（Ｄ３）この微小立方体の表面の節点を、内部に微小立方体を含みその中心がゴルフボールの中心と一致する微小球体の球面に投影して新たな節点を得るステップ、（Ｄ４）微小球体の球面とゴルフボール球面との間の空間を、その中心がゴルフボール中心と一致する複数の中間球体の球面で分割するステップ及び（Ｄ５）微小球体から複数の中間球体を経てゴルフボール球面にまで、内側の球面に存在する節点をその外側に隣接する球面に投影する操作を順次繰り返すステップ。

【0013】また、上記の目的を達成するためになされたさらに他の発明は、以下の（Ｆ）及び（Ｇ）のステップを含むゴルフボール物性の解析方法である。

（Ｆ）ゴルフボールを多数の要素にメッシュ分割して略球状、略半球状又は略１／４球状の有限要素ゴルフボールモデルを得るステップ及び（Ｇ）ステップ（Ｆ）で得られた有限要素ゴルフボールモデルを用いて有限要素法によってゴルフボール物性の解析を行うステップ。

【0014】そして、ステップ（Ｆ）は、以下の（Ｆ１）から（Ｆ４）のステップを含む。

（Ｆ１）ゴルフボールの直径と略同一直径の半円を想定するステップ、（Ｆ２）この半円の中心からこの半円の弧に向かって伸びる複数の半径線と、この半円と円中心が同一でありこの半円よりも直径が小さな複数の半円弧とを想定するステップ、（Ｆ３）半円及び半円弧と半径線との交点から複数の節点を得るステップ及び（Ｆ４）この半円をその直径線を回転軸として回転することによってステップ（Ｆ３）で得られた節点を展開するステップ。

【0015】好ましくは、有限要素ゴルフボールモデル

は、全ての要素に占める六面体要素の比率が95%以上となるようなメッシュ分割によって得られる(ステップ(H))。そして、この有限要素ゴルフボールモデルが用いられた有限要素法によって、ゴルフボール物性の解析がなされる(ステップ(I))。これによって、解析精度が向上する。

【0016】これらの解析に基づいてゴルフボールの好適な仕様が決定され(ステップ(J))、この仕様に基づいてゴルフボールの製造が行われる(ステップ(K))。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、適宜図面が参照されつつ、本発明の実施形態が詳説される。

【0018】図1は、本発明の一実施形態にかかる解析方法に用いられる有限要素ゴルフボールモデル1が示された正面図である。また、図2は、図1のII-II線に沿った断面図である。この有限要素ゴルフボールモデル1は、多数の要素3にメッシュ分割されている。各要素3の頂点は、節点5である。この有限要素ゴルフボールモデル1が形成される手順が、以下詳説される。

【0019】図3は、微小立方体7が示された斜視図である。この微小立方体7は、各辺を4等分するメッシュによって、64個の要素3aに分割されている。各要素3aの形状は、立方体(すなわち六面体)である。要素3aの頂点は、節点5aである。この微小立方体7は、1/8モデルの形成の基点となる部分である。この1/8モデルは、後に詳説されるように、原点Oで互いに直交する3個の平面(X-Y平面、Y-Z平面及びZ-X平面)で有限要素ゴルフボールモデル1が8分割されて得られるものである。微小立方体7の1個の頂点は、原点Oと一致している。微小立方体7の6個の面のうちの3個は、それぞれX-Y平面、Y-Z平面及びZ-X平面と一致している。

【0020】図4は、微小1/8球体9が示された斜視図である。この微小1/8球体9の球中心は原点Oと一致しており、この球の半径は微小立方体7の1個の面の対角線の長さよりも若干大きい。すなわち、微小1/8球体9は微小立方体7を含んでいる。微小1/8球体9の輪郭は、3本の線分(OX_1 、 OY_1 、 OZ_1)及び3本の1/4円弧(X_1-Y_1 、 Y_1-Z_1 及び Z_1-X_1)から形成されている。3本の1/4円弧(X_1-Y_1 、 Y_1-Z_1 及び Z_1-X_1)は、1/8の球面を画定する線でもある。微小1/8球体9の面 X_1OY_1 はX-Y平面と一致しており、面 Y_1OZ_1 はY-Z平面と一致しており、面 Z_1OX_1 はZ-X平面と一致している。

【0021】微小立方体7の6個の面のうち図4に表れている3個の面以外の面に存在する節点5aの全ては、微小1/8球体9の球面に投影される。投影の方法は、原点Oと投影の対象となる節点5aとを結ぶ直線に沿

て行われる。この直線と微小1/8球体9の球面との交点に、新たな節点5bが形成される。そして、新たな4個の節点5bと微小立方体7状の4個の節点5aとを頂点とする新たな要素3bが形成される。新たな要素3bの形状は、六面体である。

【0022】図5は、第一中間1/8球体15が示された斜視図である。この第一中間1/8球体15の球中心は原点Oと一致しており、この球の半径は微小1/8球体9の半径よりも若干大きい。第一中間1/8球体15の輪郭は、3本の線分(OX_2 、 OY_2 、 OZ_2)及び3本の1/4円弧(X_2-Y_2 、 Y_2-Z_2 及び Z_2-X_2)から形成されている。3本の1/4円弧(X_2-Y_2 、 Y_2-Z_2 及び Z_2-X_2)は、1/8の球面を画定する線でもある。第一中間1/8球体15の面 X_2OY_2 はX-Y平面と一致しており、面 Y_2OZ_2 はY-Z平面と一致しており、面 Z_2OX_2 はZ-X平面と一致している。

【0023】微小1/8球体9の球面に存在する節点5bの全ては、第一中間1/8球体15の球面に投影される。投影の方法は、原点Oと投影の対象となる節点5bとを結ぶ直線に沿って行われる。この直線と第一中間1/8球体15との交点に、新たな節点5cが形成される。そして、新たな4個の節点5cと微小1/8球体9上の4個の節点5bとを頂点とする新たな要素3cが形成される。新たな要素3cの形状は、六面体である。

【0024】図6は、1/8球体21(1/8モデル)が示された斜視図である。この1/8球体21の元となる球体の中心は原点O(図5参照)と一致しており、その半径はゴルフボールの半径と一致している。1/8球体21の輪郭は、3本の線分(OX_E 、 OY_E 、 OZ_E)及び3本の1/4円弧(X_E-Y_E 、 Y_E-Z_E 及び Z_E-X_E)から形成されている。3本の1/4円弧(X_E-Y_E 、 Y_E-Z_E 及び Z_E-X_E)は、1/8の球面を画定する線でもある。1/8球体の面 X_EOY_E はX-Y平面と一致しており、面 Y_EOZ_E はY-Z平面と一致しており、面 Z_EX_E はZ-X平面と一致している。

【0025】微小1/8球体9の球面と1/8球体21の球面との空間は、原点Oを中とする複数(図6の例では12個)の中間1/8球体23で分割されている。これらの中間1/8球体23のうち最も内側寄りのものが、図5に示された第一中間1/8球体15である。微小1/8球体9上の節点5bが第一中間1/8球体15に投影されたのと同様の方法にて、第一中間1/8球体15の節点5cがその外側に隣接する中間1/8球体23に投影され、新たな節点が形成される。このような、内側の球面に存在する節点とその外側に隣接する球面に投影される操作が順次繰り返され、1/8球体21の球面にまで節点が形成される。これにより、1/8モデルが得られる。この1/8モデルが8個想定され、球体と

して展開されることにより、図1及び図2に示された有限要素ゴルフボールモデル1が完成する。

【0026】この有限要素ゴルフボールモデル1は、5504個の要素3を備えている。これらの要素3全ては、頂点（すなわち節点）を8個備えた六面体である。一般に、有限要素法では四面体、五面体、六面体等の要素が想定されるが、これらの中で最も変形挙動の表現の精度に優れる要素3は、8点の積分点を使用できるという理由により、六面体の要素3である。図1及び図2に示された有限要素ゴルフボールモデル1は全ての要素3が六面体なので、解析の精度に優れるものである。もちろん、全ての要素3が六面体とされる必要はなく、四面体等の六面体以外の要素3と六面体の要素3とが併存してもよい。解析精度の観点から、全要素3の数に占める六面体の要素3の数の比率は70%以上が好ましく、75%以上がさらに好ましく、80%以上が特に好ましく、理想的にはこの比率は100%である。

【0027】有限要素ゴルフボールモデル1に含まれる要素3の数は、864個以上100000個以下が好ましい。要素3の数がこれ未満であると、解析精度が不十分となってしまうことがある。この観点から、要素3の数は1664個以上が特に好ましく、2816個以上がさらに好ましい。逆に、要素3の数がこれを超えると、解析に手間がかかってしまうことがある。この観点から、要素3の数は50000個以下が特に好ましく、20000個以下がさらに好ましい。もちろん、計算機の処理能力が向上するほど、要素3の数が多く設定されうる。

【0028】微小立方体7に含まれる64個の要素3aは正六面体であり、有限要素ゴルフボールモデル1全体の要素3の形状から見れば、いわば特異な形状である。正六面体の要素3aのサイズが小さいほど解析精度は向上するが、あまりに小さいと計算に長時間を要してしまう。通常は、有限要素ゴルフボールモデル1の直径に対する微小立方体7の一辺の長さの比率が0.9%以上となるように、正六面体の要素3aのサイズが決定される。もちろん、計算機の処理能力が向上するほど、正六面体の要素3aのサイズが小さくされうる。なお、微小立方体7の一辺は、この微小立方体7が微小1/8球体9に内包される長さとなされる必要がある。

【0029】この例では、微小立方体7の一辺を4等分するメッシュが想定されたが、一辺の分割数はこれには限られない。例えば一辺を3等分するメッシュが想定された場合は微小立方体7が27個の要素3aに分割され、一辺を5等分するメッシュが想定された場合は微小立方体7が125個の要素3aに分割される。一辺の分割数は3以上20以下が好ましく、3以上15以下が特に好ましい。分割数が上記範囲未満であると、解析精度が不十分となってしまうことがある。逆に、分割数が上記範囲を超えると、有限要素ゴルフボールモデル1形成

のための計算や解析のための計算に手間がかかってしまうことがある。もちろん、計算機の処理能力が向上するほど、分割数が多く設定されうる。

【0030】図7は、図1及び図2に示された有限要素ゴルフボールモデル1が用いられたゴルフボール物性の解析方法の一例が示されたフローチャートである。この解析方法では、まずゴルフボールの構造及び使用される材料が、机上で設計される（SP1）。次に、この設計データに基づいて、有限要素ゴルフボールモデル1が作成される（SP2）。次に、圧縮変形量（SP3）、固有振動数（SP4）、反発特性（SP5）及び打撃時物性（SP6）が評価される。打撃時物性とは、ゴルフクラブで打撃された際のゴルフボールの初速、スピン速度、打ち出し方向等を意味する。SP3からSP6の評価は、既知の有限要素法によってなされる。これらの結果が総合的に評価され（SP7）、結果が満足であったか否かが判定される（SP8）。満足な結果が得られなかった場合は、この評価結果が設計にフィードバックされ、ゴルフボールの構造や材料が再度設計される（SP9）。満足な結果が得られた場合は、この設計に基づいてゴルフボールが製造される（SP10）。

【0031】なお、有限要素ゴルフボールモデル1の、圧縮変形量の解析の際の各要素3の挙動の一例が図8（a）に示されており、圧縮モードの固有振動数の解析の際の各要素3の挙動の一例が図8（b）に示されており、ねじれモードの固有振動数の解析の際の各要素3の挙動の一例が図8（c）に示されており、中空金属柱25との衝突における反発特性の解析の際の各要素3の挙動の一例が図8（d）に示されており、ゴルフクラブ27による打撃時の物性解析の際の各要素3の挙動の一例が図8（e）に示されている。この解析方法では、ゴルフボール全体の物性のみならず、各部位における変形形状、応力分布、歪み分布、エネルギー分布等が、時刻歴として得られる。

【0032】図7及び図8に示された解析方法はあくまで一例であり、必ずしもこの手順で解析が行われる必要はない。例えば、SP3からSP6までの評価の順序が異なってもよく、また、一部の評価項目が省略されてもよい。さらに、図7及び図8に示された項目以外の項目が、有限要素法によって評価されてもよい。

【0033】図1から図6に示された有限要素ゴルフボールモデル1の形成方法では、1/8モデル21から有限要素ゴルフボールモデル1が得られたが、1/8モデル21が想定されることなく有限要素ゴルフボールモデル1が形成されてもよい。例えば、球体の中心に微小立方体7が想定されてもよい。この場合は、まず微小立方体7がメッシュ分割され、節点を得られる。次に、微小立方体の表面の節点が、内部に微小立方体を含みその中心がゴルフボールの中心と一致する微小球体の球面に投影され、新たな節点を得られる。次に、微小球体の球面とゴ

ゴルフボール球面との間の空間が、その中心がゴルフボール中心と一致する複数の中間球体の球面で分割される。そして、内側の球面に存在する節点とその外側に隣接する球面に投影される操作が、微小球体から複数の中間球体を経てゴルフボール球面にまで、順次繰り返される。こうして、有限要素ゴルフボールモデルが形成される。この場合において、全要素の数に占める六面体要素の数の比率は70%以上が好ましく、75%以上が特に好ましく、80%以上がさらに好ましく、理想的にはこの比率は100%である。また、この場合において、有限要素ゴルフボールモデルの直径に対する微小立方体の一辺

【0034】図9は、本発明の他の実施形態にかかる解析方法に用いられる有限要素ゴルフボールモデル29が示された断面図である。この有限要素ゴルフボールモデル29も、多数の要素31にメッシュ分割されている。

【0035】図10は、図9の有限要素ゴルフボールモデル29の微小1/8球体37が示された斜視図である。この微小1/8球体37は、微小立方体39を含んでいる。この微小立方体39は、各辺を3等分するメッシュによって、27個の要素31aに分割されている。要素31aの頂点は、節点41aである。微小立方体39の各辺が4/3倍に延長されることにより、図10において点線で示される仮想立方体42が想定される。仮想立方体42は、27個の要素31aと、37個の仮想要素31fとを備えている。仮想要素31fの頂点は、仮想節点41fである。仮想立方体42の6個の面のうち図10に表れている3個の面以外の面に存在する仮想節点41fの全ては、この仮想節点41fと原点とを結ぶ直線によって、微小1/8球体37の球面に投影される。投影によって、微小1/8球体37の球面に新たな節点41bが形成される。そして、新たな4個の節点41bと微小立方体39上の4個の節点41aとを頂点とする新たな要素31bが形成される。新たな要素31bの形状は、六面体である。なお、新たに形成された要素31bのうち微小立方体39の頂点を含む要素31bp（以下、「頂点部要素」と称される）は、図10では三角形に画かれているが、この三角形の一辺に相当する円弧の中心にも仮想節点41fが投影されて新たな節点41bが想定されるので、この頂点部要素31bpも8個の節点を備えた六面体である。

【0036】仮想立方体42は節点41bを得るためにのみ用いられる。従って、仮想立方体42、仮想要素31f及び仮想節点41fは、有限要素法におけるその後の計算には用いられない。

【0037】微小1/8球体37の節点は、第1中間1/8球体45（図9参照）に投影される。そして、図1から図6に示された有限要素ゴルフボールモデル29と同様に、内側の球面に存在する節点とその外側に隣接する球面に投影される操作が順次繰り返される。これによ

り、1/8モデルが得られる。この1/8モデル8個が球体として展開されることにより、図9に示された有限要素ゴルフボールモデル29が完成する。

【0038】この有限要素ゴルフボールモデル29は、全体で2816個の要素31を含んでいる。これらの要素31は、全て六面体である。このため、この有限要素ゴルフボールモデル29が用いられた解析方法は、解析精度に優れる。解析精度の観点から、全要素31の数に占める六面体要素の数の比率は70%以上が好ましく、75%以上がさらに好ましく、80%以上が特に好ましく、理想的にはこの比率は100%である。

【0039】有限要素ゴルフボールモデル29に含まれる要素31の数は、864個以上100000個以下が好ましい。要素31の数がこれ未満であると、解析精度が不十分となってしまうことがある。この観点から、要素31の数は1664個以上が特に好ましく、2816個以上がさらに好ましい。逆に、要素31の数がこれを超えると、解析に手間がかかってしまうことがある。この観点から、要素31の数は50000個以下が特に好ましく、20000個以下がさらに好ましい。

【0040】この有限要素ゴルフボールモデル29でも、有限要素ゴルフボールモデル29の直径に対する微小立方体39の一辺の長さの比率は、0.9%以上が好ましい。また、微小立方体39の一辺の分割数は3以上20以下が好ましく、3以上15以下が特に好ましい。この有限要素ゴルフボールモデル29が用いられた場合も、図7及び図8に示された手順と同等の手順で、ゴルフボールの物性解析がなされる。

【0041】図9及び図10に示された有限要素ゴルフボールモデル29の形成方法では、1/8モデルから有限要素ゴルフボールモデル29が得られたが、1/8モデルが想定されることなく有限要素ゴルフボールモデルが形成されてもよい。例えば、球体の中心に微小立方体が想定され、この微小立方体の節点が順次球面に投影されて有限要素ゴルフボールモデルが得られてもよい。この場合でも、全要素の数に占める六面体要素の数の比率は70%以上が好ましく、75%以上が特に好ましく、80%以上がさらに好ましく、理想的にはこの比率は100%である。また、この場合において、有限要素ゴルフボールモデルの直径に対する微小立方体の一辺の長さの比率は、0.9%以上が好ましい。

【0042】図11は、本発明のさらに他の実施形態にかかる解析方法に用いられる有限要素ゴルフボールモデル47が示された正面図である。また、図12は、図1のXII-XII線に沿った断面図である。さらに、図13は、図11の有限要素ゴルフボールモデル47の1/8モデル49が示された斜視図である。

【0043】この有限要素ゴルフボールモデル47が形成されるには、まず図14に示されるように、有限要素ゴルフボールモデル47と同一直径の半円51が想定さ

10

20

30

40

50

れる。次に、この半円51の中心Oから弧に向かって、多数(図14では17本)の半径線53が想定される。次に、半円51と同心であり半円51よりも直径の小さな半円弧55が多数(図14では12個)想定される。そして、半径線53と半円51との交点及び半径線53と半円弧55との交点が、節点57とされる。

【0044】図14に示された図形は、直径線(例えば図14におけるY軸)を回転軸として回転させられる。回転は、所定角度刻み(この例では11.25°刻み)で間欠的に行われる。そして、回転中に図14の図形が静止したときの節点57の位置に、新たな節点が想定される。このようにして図形が1回転(すなわち360°の回転)する間に得られた節点により、球体が多数の要素に分割される。こうして、図11から図13に示された有限要素ゴルフボールモデル47が完成する。

【0045】図14において、最も内側の半円弧55iの内側の要素59は、三角形に表されている。この要素59のうち回転軸Yと接する要素59aの立体形状は、三角錐(四面体)である。また、最も内側の半円弧55iの内側の要素59のうち回転軸Yと接しない要素59bの立体形状は、四角錐(五面体)である。さらに、最も内側の半円弧55iの外側に位置し、回転軸Yと接する要素61の立体形状は、三角柱(五面体)である。これら以外の要素63は、全て六面体である。この有限要素ゴルフボールモデル47には、64個の四面体要素59aと、1216個の五面体要素59b、61と、5376個の六面体要素63とが含まれている。全ての要素数に占める六面体要素63の数の比率は、81%である。解析精度の観点から、全要素の数に占める六面体要素63の数の比率は70%以上が好ましく、75%以上が特に好ましく、80%以上がさらに好ましい。

【0046】この有限要素ゴルフボールモデル47では、全要素の合計体積に占める六面体要素63の合計体積の比率は、81%である。解析精度の観点から、全要素の合計体積に占める六面体要素63の合計体積の比率は70%以上が好ましく、75%以上が特に好ましく、80%以上がさらに好ましい。

【0047】有限要素ゴルフボールモデル47に含まれる要素59、61、63の数は、2000個以上100000個以下が好ましい。要素59、61、63の数がこれ未満であると、解析精度が不十分となってしまうことがある。この観点から、要素59、61、63の数は2880個以上が特に好ましく、6656個以上がさらに好ましい。逆に、要素59、61、63の数がこれを超えると、解析に手間がかかってしまうことがある。この観点から、要素59、61、63の数は50000個以下が特に好ましく、20000個以下がさらに好ましい。

【0048】この有限要素ゴルフボールモデル47では、最も内側の半円弧55iの半径は2mm未満が好ま

しい。これにより、中心から2mm以上離れた領域に存在する要素のうち、回転軸Yと接しない要素全てが六面体要素となる。これにより、解析の精度が向上する。好ましくは、中心から2mm以上離れた領域に存在する要素のうちの90%以上、特に95%以上が六面体要素となる。

【0049】解析精度向上と解析の手間の軽減との観点から、想定される半径線53の数は13個以上61個以下が好ましく、17個以上37個以下が特に好ましい。また、同様の観点から、図14に示された図形が回転させられる際の刻み角度は3°以上15°下が好ましく、5°以上11.25°以下が特に好ましい。

【0050】この有限要素ゴルフボールモデルが用いられた場合も、図7及び図8に示された手順と同等の手順で、ゴルフボールの物性解析がなされうる。

【0051】図1に示された有限要素ゴルフボールモデル1、図9に示された有限要素ゴルフボールモデル29及び図11に示された有限要素ゴルフボールモデル47はいずれも略球状であるが、略半球状(1/2球状)又は略1/4球状の有限要素ゴルフボールモデルが想定されてもよい。図15(a)は半球状有限要素ゴルフボールモデル65が1/2中空金属柱67と衝突する際の反発特性の解析の様子が示された斜視図であり、図15

(b)は1/4球状有限要素ゴルフボールモデル69が1/4中空金属柱71と衝突する際の反発特性の解析の様子が示された斜視図である。ゴルフボールは球状であって対称性が良好なので、半球状有限要素ゴルフボールモデル65及び1/4球状有限要素ゴルフボールモデル69であっても、並進拘束及び回転拘束を利用することによって測定精度が低下することなく解析が行われうる。しかも、半球状有限要素ゴルフボールモデル65及び1/4球状有限要素ゴルフボールモデル69が用いられることにより、モデル想定及び解析処理に要する時間が短縮されうる。

【0052】

【発明の効果】以上説明されたように、本発明によって、有用で簡便なゴルフボールのメッシュ分割法が提供される。このメッシュ分割によって得られた有限要素ゴルフボールモデルが用いられることにより、有限要素法によるゴルフボール物性の解析が容易且つ精度よく行われる。これにより、ゴルフボールの設計から製造までのスピードアップが図られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の一実施形態にかかる解析方法に用いられる有限要素ゴルフボールモデルが示された正面図である。

【図2】図2は、図1のII-II線に沿った断面図である。

【図3】図3は、微小立方体が示された斜視図である。

【図4】図4は、微小1/8球体が示された斜視図であ

る。

【図5】図5は、第1中間1/8球体が示された斜視図である。

【図6】図6は、1/8球体（1/8モデル）が示された斜視図である。

【図7】図7は、図1及び図2に示された有限要素ゴルフボールモデルが用いられたゴルフボール物性の解析方法の一例が示されたフローチャートである。

【図8】図8（a）は圧縮変形量の解析の際の各要素の挙動の一例が示された正面図であり、図8（b）は圧縮モードの固有振動数の解析の際の各要素の挙動の一例が示された正面図であり、図8（c）はねじれモードの固有振動数の解析の際の各要素の挙動の一例が示された正面図であり、図8（d）は反発特性の解析の際の各要素の挙動の一例が示された正面図であり、図8（e）はゴルフクラブによる打撃時の物性解析の際の各要素の挙動の一例が示された正面図である。

【図9】図9は、本発明の他の実施形態にかかる解析方法に用いられる有限要素ゴルフボールモデルが示された断面図である。

【図10】図10は、図9の有限要素ゴルフボールモデルの微小1/8球体が示された斜視図である。

【図11】図11は、本発明のさらに他の実施形態にかかる解析方法に用いられる有限要素ゴルフボールモデル*

*が示された正面図である。

【図12】図12は、図1のXII-XII線に沿った断面図である。

【図13】図13は、図11の有限要素ゴルフボールモデルの1/8モデルが示された斜視図である。

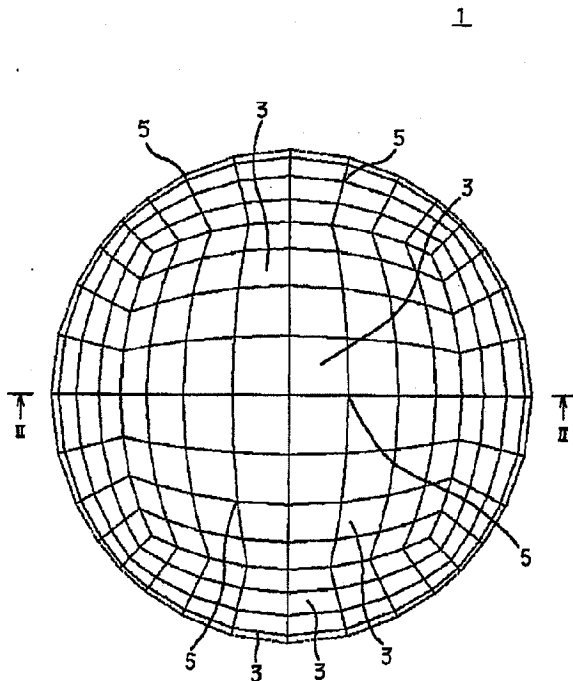
【図14】図14は、図11の有限要素ゴルフボールモデルが形成されるための半円図形が示された正面図である。

【図15】図15（a）は半球状有限要素ゴルフボールモデルが1/2中空金属柱と衝突する際の反発特性の解析の様子が示された斜視図であり、図15（b）は1/4球状有限要素ゴルフボールモデルが1/4中空金属柱と衝突する際の反発特性の解析の様子が示された斜視図である。

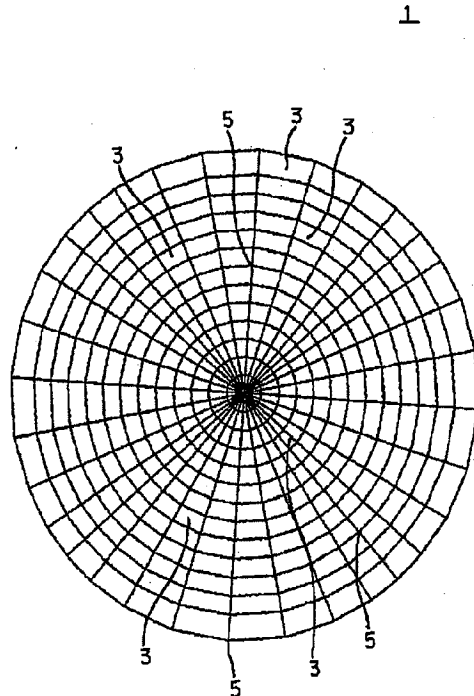
【符号の説明】

- 1・・・有限要素ゴルフボールモデル
- 3、3a、3b、3c・・・要素
- 5、5a、5b、5c・・・節点
- 7・・・微小立方体
- 9・・・微小1/8球体
- 15・・・第一中間1/8球体
- 21・・・1/8球体
- 23・・・中間1/8球体

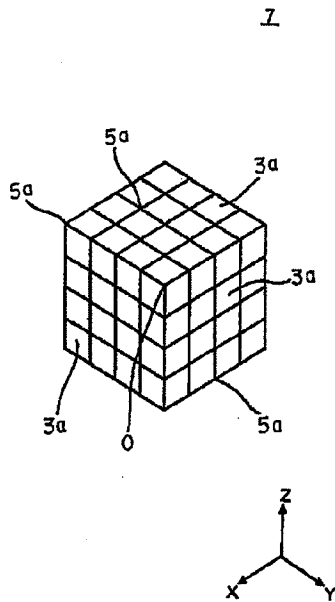
【図1】



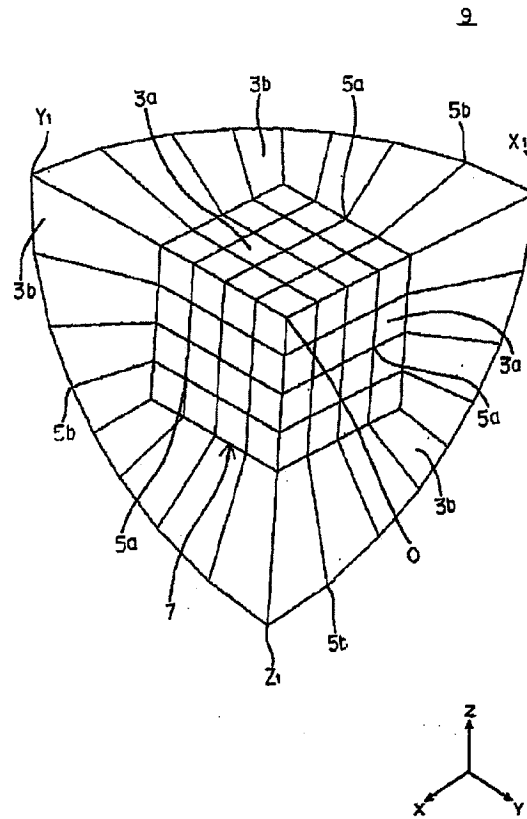
【図2】



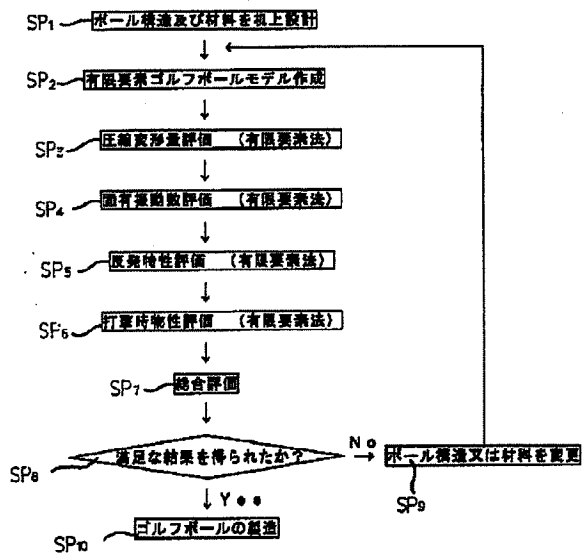
【図3】



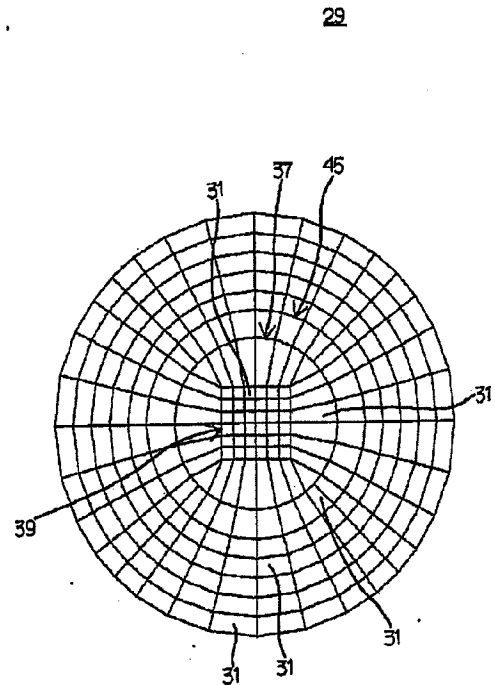
【図4】



【図7】

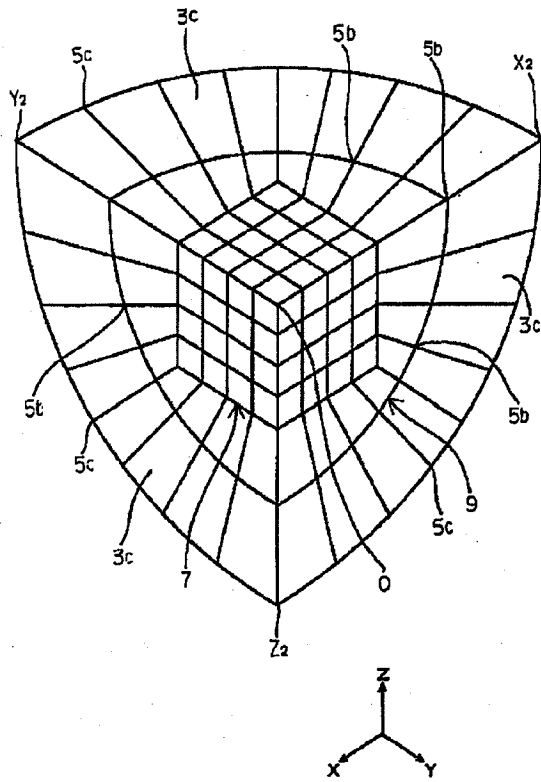


【図9】



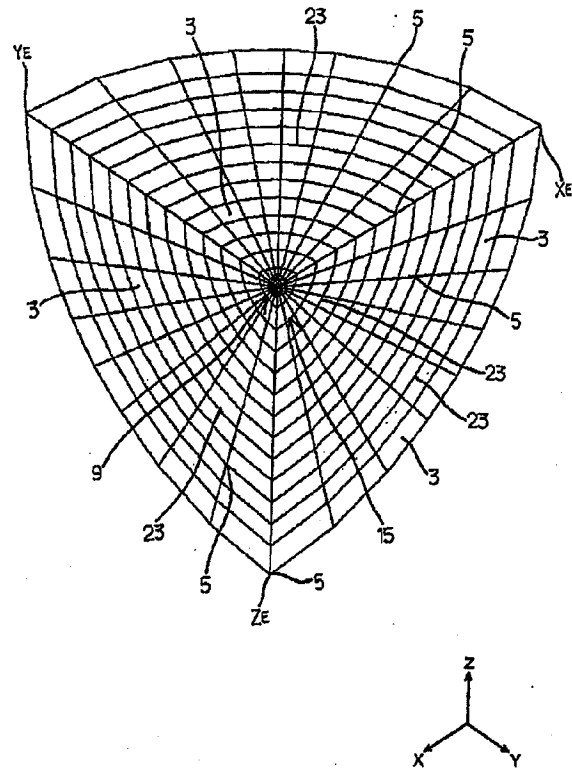
【図5】

15



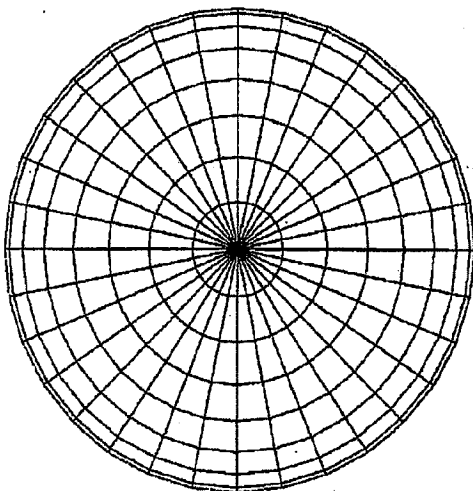
【図6】

21

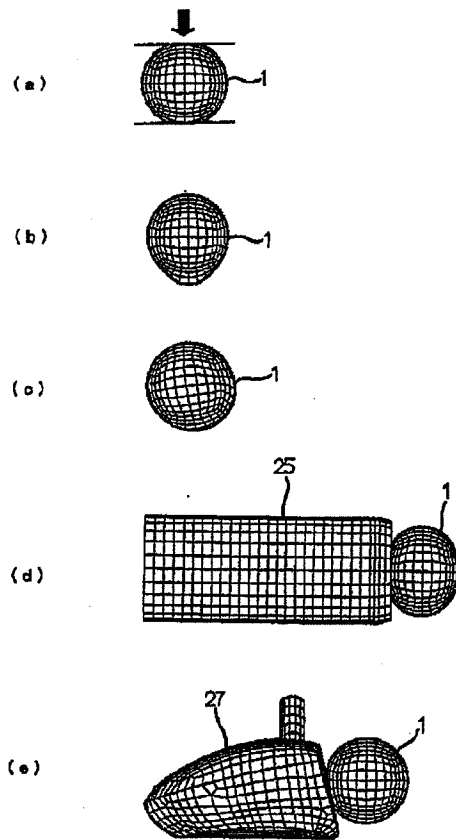


【図12】

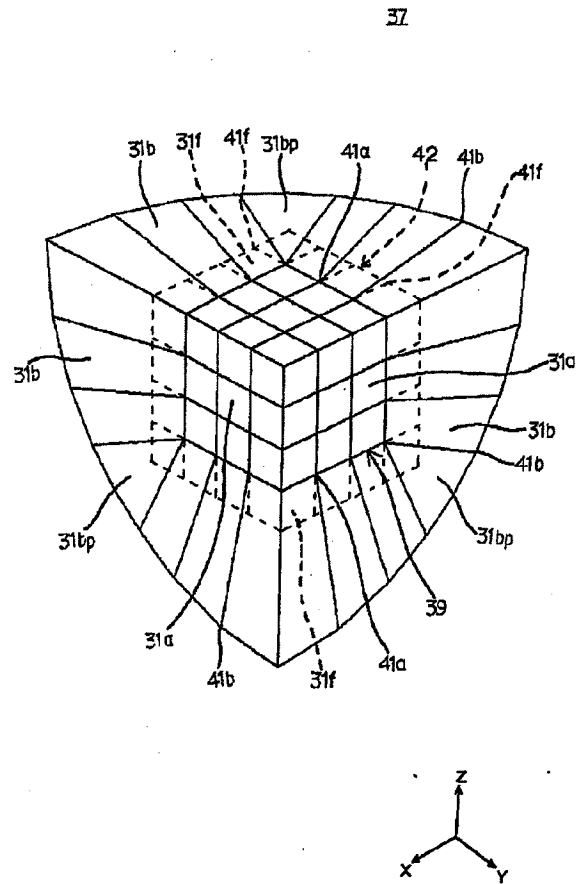
47



【図8】

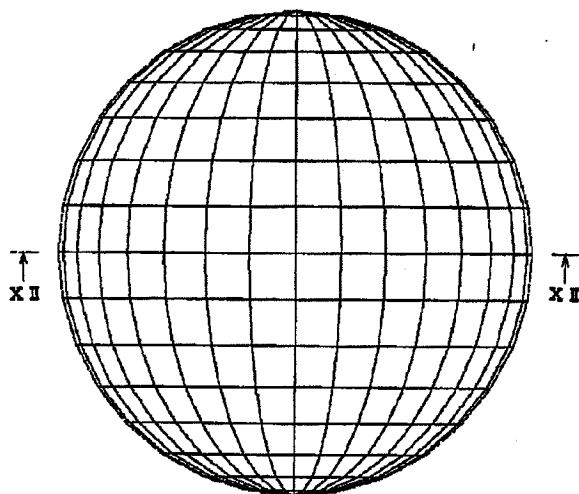


【図10】



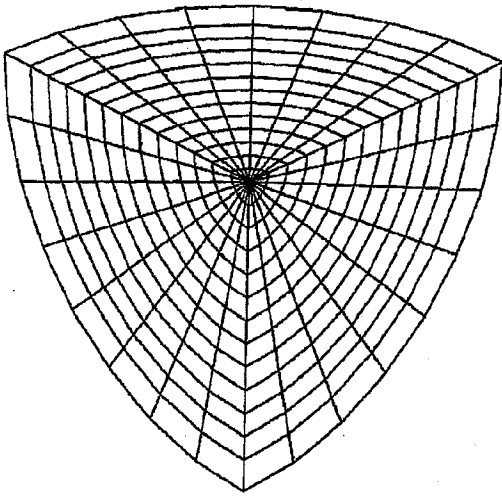
【図11】

47

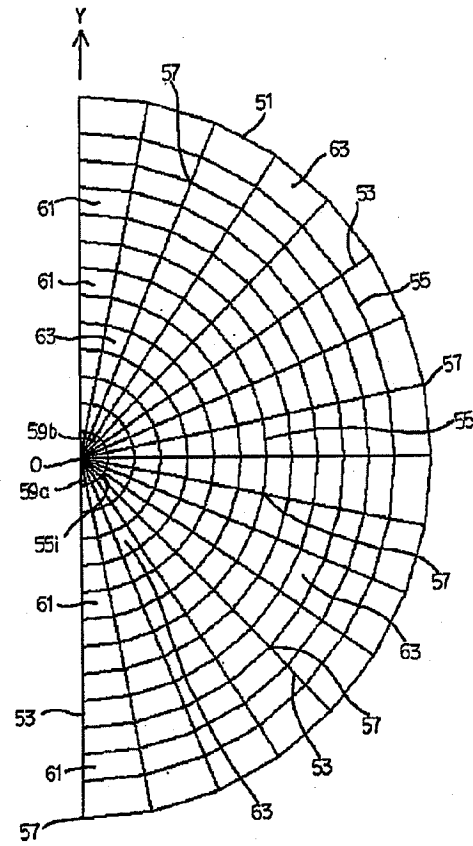


【図13】

49



【図14】



【図15】

